

# MODELO LINEAL PARA LA PREDICCIÓN DEL DAÑO PRODUCIDO POR IMPACTO MECÁNICO EN PERA BLANQUILLA

L. Rodríguez Sinobas  
Instituto del Frio  
C.S.I.C.  
Ciudad Universitaria  
28040 Madrid

M. Ruiz Altisent  
Depto. Ingeniería Rural  
E.T.S.I. Agrónomos  
Ciudad Universitaria  
28040 Madrid

Abstract Linear model to predict bruise in Blanquilla pear.

Fruits of pear variety Blanquilla of different ripeness levels were tested in impact with a spherical indenter of 50.6 g of weight, released on the fruits from three heights of fall (4, 6 and 10 cm). A linear model was applied to all parameters, trying to define the bruises (depth and diameter). The linear models obtained could explain only a 57% of the total variance of these bruise parameters, being the impact energy the most important in both types of fruits: ripe and senescent. In the senescent group, the physiological state, characterized by maturity index E/A and titrable acidity, appear more relevant than the rest of the variables; the deformations are also greater and more indicative of the expected bruises in the senescent fruits.

## Resumen

Frutos de pera cv. "Blanquilla" de distintos grados de madurez se ensayaron a impacto mecánico con un indentador esférico de 50.6 g de masa desde tres alturas de caída (4, 6 y 10 cm) y se determinó un modelo lineal para cada uno de los parámetros que definían la magulladura producida (profundidad y diámetro) y en cada uno de los dos grupos de frutos estudiados: no senescentes y senescentes, en función de las variables definitorias del fenómeno del impacto y del estado del fruto que se consideraron más representativas. Se observa que los modelos lineales determinados explican la magulladura en menos del 57%, siendo la energía máxima de impacto la que adquiere mayor importancia en ambos grupos. En los senescentes, el estado fisiológico (expresado por el índice de madurez E/A y la acidez titulable) posee una relevancia mayor que el resto de variables, y las deformaciones (indicativas de un comportamiento plástico del producto) toman gran importancia.

## 1. Introducción

Las magulladuras en frutos y hortalizas se ocasionan principalmente por el impacto producido entre ellos y contra elementos rígidos y por compresión (Mohsenin et al., 1972, Dal Fabro et al., 1980).

Los cultivares de las distintas especies varían en la susceptibilidad al daño mecánico, valorado en base al tamaño de la masa de tejido ablandado y coloreado desarrollada después de haberse producido la carga mecánica (Dedolph et al., 1962; Mohsenin et al., 1962; Hyde et al., 1968).

El impacto es un fenómeno mecánico en el cual dos o más masas entran en contacto con la condición de que la velocidad relativa sea superior a un cierto nivel. Las fuerzas aplicadas actúan y desaparecen en un periodo muy breve de tiempo del orden de 8 o 10 ms (milisegundos).

Chen et al. (1985) diseñaron un dispositivo de impacto controlado por ordenador, el cual es capaz de controlar el ensayo de impacto, quedando recogidos los parámetros más característicos: energías, deformaciones, fuerza y tiempo de impacto, a partir de los datos emitidos por un acelerómetro (colocado en el extremo superior del vástago del indentador).

Holt y Schoorl (1977), Pitt (1982) y Chen et al. (1986) han formulado modelos simples que explican el comportamiento de los frutos sometidos a cargas o deformaciones. Los primeros autores encuentran una fuerte correlación entre la energía absorbida por frutos de manzana "Granny-Smith", sometido a impacto y compresión, y el volumen de la magulladura, volviendo a confirmar estos resultados con otras variedades en 1980.

Chen et al. (1986), trabajando con peras asiáticas encuentran, que en el estudio de correlaciones múltiples realizado entre los parámetros medidos, los valores más altos correspondían a la profundidad y diámetro de magulladura y entre los parámetros mecánicos se hallaban las fuerzas y las deformaciones.

Topping et al (1986) ensayando a impacto tres cultivares de manzana, detectaron un incremento en el diámetro y el volumen magullado con la energía máxima del impacto. Observaron que los errores típicos obtenidos en la medida del volumen de magulladura eran mayores que los obtenidos en la medida del diámetro.

## 2. Materiales y métodos

El trabajo se llevó a cabo con frutos de pera "Blanquilla" procedente del valle del río Segre en Lérida; fueron ensayados a impacto mecánico desde tres alturas de caída del impactador: 4, 6 y 10 cm, correspondiendo a las energías 0.0199, 0.0299 y 0.0499 Julios.

El dispositivo general del ensayo a impacto utilizado puede verse en la figura 1. Consiste básicamente en lo siguiente: plataforma de ensayo de madera con un brazo de carro móvil para el ajuste de la altura, electroimán (se ajusta al carro móvil) alimentado por una corriente continua, acelerómetro (constituye el mecanismo sensible y va conectado con la unidad de adquisición de datos al ordenador), unidad de adquisición de datos (convertidor analógico digital que elabora los datos del acelerómetro y los envía al ordenador), indentador de acero con cabeza esférica de 50.6 g de peso, incluido el acelerómetro, que impacta al fruto) y una batería de programas informáticos que constituye la base para la captación de datos y representación de los mismos.

Los frutos, una vez seleccionados siguiendo los criterios convencionales, fueron mantenidos en cámara de conservación a  $+1 \pm 0.5$  °C y 85% de H.R. Cada semana se extraían 75 frutos de los cuales 15 de ellos se ensayaban ese mismo día y los restantes experimentaban la maduración complementaria en cámara de  $+18 \pm 0.5$  °C y 85% de H.R y se extraían un total de 15 frutos en días sucesivos durante tres o cuatro días. Hubo dos ensayos de 20 y 60 frutos respectivamente que no fueron sometidos a la maduración complementaria y constituyeron los frutos más firmes del ensayo. El total de frutos ensayados fue 290.

De los 15 frutos extraídos por día, 10 de ellos se impactaban y los restantes servían para la caracterización fisiológica de la muestra. Los parámetros obtenidos y sus unidades pueden verse en la tabla 1. La magulladura se expresó como diámetro y profundidad, evaluada después de dos horas de haberse producido el impacto.

La separación entre frutos no senescentes y senescentes se hizo atendiendo a la variable firmeza (determinada por el ensayo de Magness-Taylor), ya que se ha demostrado que la firmeza es uno de los índices de madurez más fiables en "Blanquilla". El punto de corte elegido fue 25 N (corroborado por la función de distribución de dicha variable

y por la observación de las curvas del ensayo de Magness-Taylor). Con los dos grupos así definidos se realizó un análisis de varianza en las tres alturas del ensayo resultando tener medias significativamente diferentes.

Se eligió el modelo lineal debido a la tendencia lineal observada entre las dos variables "daño" y el resto de parámetros obtenidos y dentro de los modelos lineales, se siguió el denominado "por pasos". Las variables diámetro y profundidad en cada uno de los dos grupos se explicaron en función del resto de variables del estudio, excepto la energía absorbida que no se utilizó, dada la dependencia lineal ( $R^2 = 0.98$  que presenta con la energía máxima).

### 3. Resultados

#### 3.1. Modelo para el diámetro de magulladura

Los coeficientes obtenidos para cada uno de los grupos de frutos son significativamente diferentes, por lo que se rechaza la hipótesis nula  $H_0: x = 0$ ; sus residuos son normales.

Según la Tabla 2 vemos que en los dos grupos no se explica más del 54% de la variable daño. Entre los parámetros que participan destacan la fuerza de impacto en frutos no senescentes y la madurez (índice E/A) en los senescentes seguidos de la acidez y de la fuerza de impacto.

El ajuste es mejor en los frutos no senescentes, donde participan un número menor de parámetros. En los senescentes se observa una mayor importancia de las deformaciones; su comportamiento se considera más plástico.

La energía máxima explicaba cerca del 48% en ambos grupos, pero se excluyó del modelo debido a la relación lineal que presentaba con alguna de las variables que ya habían sido introducidas anteriormente.

#### 3.2. Modelo para la profundidad de magulladura

Los coeficientes son significativamente diferentes, desechándose la hipótesis nula y los residuos siguen una ley normal.

Según la Tabla 3 vemos que en ambos grupos no se explica más del 57% de la variable, teniendo un ajuste mejor los no senescentes. La energía máxima de impacto es de todas las variables la más importante, quedando el resto relegadas a un segundo plano, confirmando las relaciones de linealidad señaladas por Holt et al. (1977) y Topping (1986).

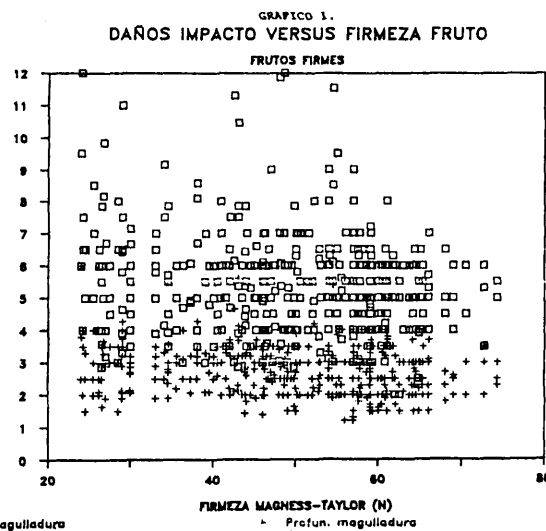
La fuerza de impacto aparece sólo en el modelo de los frutos no senescentes; en cambio los senescentes, presentan una reacción más variable, ligada a su comportamiento más heterogéneo. Se observa escasa influencia de las variables que caracterizan el estado fisiológico del fruto.

En los gráficos 1 y 2 puede verse una tendencia sólo muy ligeramente descendente de las variables "daño" en relación con la firmeza creciente, en los dos grupos.

### Referencias

- Chen, P., Tang, S., Zong, and S. 1985. Instrument for testing the response of fruits to impact. ASAE Paper no. 85-3537.
- Chen, P., Ruiz, M., Lu, F., and Kader, A. 1986. Study of impact and compression damage on Asian pears. ASAE Paper no. 86-3025.
- Dal Fabro, J.M., Murase, H., and Segerling, L.J. 1980. Strain failure of apple, pear and potato tissue. ASAE Paper no. 80-3048.
- Dedolph, R.R., and Austin M.E. 1962. The evaluation of impact bruises on apple fruits. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 80: 125-129.
- Holt, J.E., and Schoorl, D. 1977. Bruising and energy dissipation in apples. J. of Texture Studies 7: 421-432.
- Hyde, J.F., and Ingle, M. 1968. Size of apple bruises as affected by cultivar, maturity and time in storage. Pro. Amer. Soc. Hort. Sci. 92: 733-738.
- Mohsenin, N.N., Goehlich, H., and Tukey, L.D. 1962. Mechanical behavior of apple fruit as related to browning, Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 81: 67-77.
- Mohsenin, N.N. 1972 Mechanical properties of fruits and vegetables, review of a decade of research. Application and future needs. Trans. Amer. Soc. Agr. Eng. 15,1064.
- Pitt, R.e. 1982. Models for the rheology and statistical strength of uniformly stresses vegetative tissue. Trans. of ASAE Vol. 25 no. 6: 1776-1784.
- Topping, A.J., and Lutton, M.J. 1986. Cultivar differences in the bruising of English apples. J. Hort. Sci. 61(1): 9-13.

DAÑOS IMPACTO (mm)



DAÑOS IMPACTO (mm)

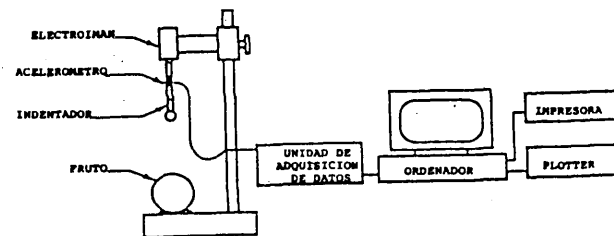
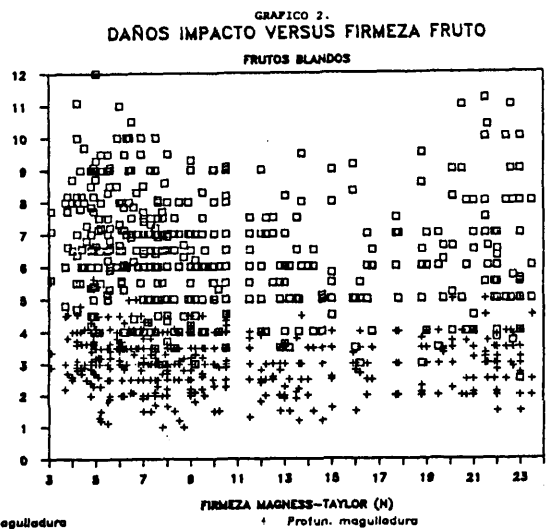


FIGURA 1. Dispositivo de ensayo a impacto mecánico en frutos.

FRUTOS	VARIABLES DEL MODELO	COEFICIENTES	COEFIC. REGRESION STANDARD
NO SENESCENTES $R^2 = 0.567$ ERROR TIPICO = 0.469	T.INDEPEN.	4.728	
	FIMP	0.025	0.292
	EMAX	25.834	0.452
	FIRM	-0.011	-0.192
	ACDZ	-4.388	-0.194
	BRAC	-0.041	-0.239
SENESCENTES $R^2 = 0.534$ ERROR TIPICO = 0.387	T.INDEPEN.	3.101	
	EMAX	50.108	0.724
	TIMP	-0.147	-0.122
	FIRM	-0.017	-0.120
	BRAC	-0.012	-0.077

Tabla 3. Modelo lineal de la profundidad de magulladura.

FRUTOS	VARIABLES DEL MODELO	COEFICIENTES	COEFIC. REGRESION STANDARD
NO SENESCENTES $R^2 = 0.542$ ERROR TIPICO = 1.020	T.INDEPEN.	-2.798	
	FIMP	0.144	0.782
	TIMP	0.534	0.157
	FIRM	0.026	-0.203
	BRAC	0.034	0.092
SENESCENTES $R^2 = 0.509$ ERROR TIPICO = 1.234	T.INDEPEN.	16.826	
	FIMP	0.087	0.340
	DFMX	1.063	0.211
	DFIN	1.143	0.187
	FIRM	-0.032	-0.180
	ACDZ	-23.377	-0.251
	BRAC	-0.177	-0.538

Tabla 2. Modelo lineal del diámetro de la magulladura.

NOMBRE DEL PARAMETRO	UNIDADES (S.I.)	SÍMBOLO
Fuerza máxima de impacto	N	FIMP
Deformación máxima	mm	DFMX
Deformación permanente	mm	DFIN
Energía máxima del impacto	J	EMAX
Energía absorbida	J	EABS
Duración del impacto	ms	TIMP
Firmeza del fruto	N	FIRM
Acidez del fruto (A)	g Ac.málico / 100 g pulpa	ACDZ
Sólidos solubles totales (E)	° Brix	BRIX
Índice de madurez (E/A)	-	BRAC
Profundidad de magulladura	mm	PMAG
Diámetro de magulladura	mm	AMAG

Tabla 1. Variables estudiadas en el ensayo a impacto mecánico en pera "Blanquilla".